

GPS ТЕХНОЛОГИИТЕ В ЖЕЛЕЗОПЪТНАТА ОСИГУРИТЕЛНА ТЕХНИКА

проф. д-р Неделчо Неделчев
nedelchev@vtu.bg

*Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”
София 1574, ул. “Гео Милев” №158*

***Ключови думи:** позициониране, GPS, изкуствен спътник, влак, осигурителна техника.*

***Резюме:** В статията се показват икономическите предимства от внедряване на GPS технологии в железопътния транспорт. Изяснено е глобалното позициониране и накратко са представени съществуващите системи за спътниково позициониране, като критично са оценени възможностите за тяхното използване. Посочени са пътищата за подобряване на основните параметри. В края е направен преглед на внедрените системи за железопътна осигурителна техника, изградени върху GPS технологии. На тази база са дадени прогнози за развитието на железопътната осигурителна техника.*

1 Въведение

Удържането на завоюваните позиции на транспортния пазар, както и стремежът да предлага нови възможности и услуги принуждават железопътния транспорт да не разчита само на традиционно по-високите сигурност и екологичност, но и да търси пътища за постигане на по-висока ефективност. Това се отнася най-вече до съкращаване на времето за което пътници и товари достигат до крайната точка, до цената на предлаганите услуги и до разширени информационни възможности, в т.ч. откриване и проследяване на товари. Постигането на такива цели е свързано с решаване на широк кръг технически проблеми, не малка част от които са на железопътната осигурителна техника.

За осигурителната техника има международно приети норми за безопасност. Те не подлежат на ревизия. Задачата за модернизация на железопътната осигурителна техника е постигането на утвърдените норми с по-малко средства. Става дума за средства за първоначално въвеждане, поддържане и експлоатация, за по-малка уязвимост от вандализъм. Особено важно е управлението на движението в линиите с по-малък трафик да се осигурява с по-малки разходи.

Развитието на интеграционните процеси в Европа доведе до разработването на проекта ERTMS (European Rail Traffic Management System) с неговите две основни компоненти – ETCS (European Train Control System) и GSM-R (Global System for Mobile communication - Railway) [1]. Съгласно този проект всички европейски страни ще подчиняват внедряваните системи за управление на движението в железопътния транспорт на общи европейски норми и изисквания с което ще се постигне интероперабилност, взаимно признаване и като цяло – модерен и непрекъсваем транспортен процес.

Съществено за проекта в частта му ETCS е минимизирането на инфраструктурните компоненти за сметка на бордовото оборудване. Постепенно се премахват външните сигнали и средства за откриване на возила, каквито са релсовите вериги и броячите на оси. Влакът сам определя местонахождението си, като периодично фиксира преминаване през маркирани точки, съоръжени с пътни приемо-предаватели (бализи). Позиционната информация се предава по радиоканал до управляващ център, който от своя страна изпраща управляващи команди към съставите от подчинения му участък.

Решаването на позиционната задача без релсови вериги и броячи на оси е сериозна крачка към намаляване на инфраструктурното оборудване. Тяхната фактическа алтернатива - бализите - позволяват самопозициониране на влака без да изискват управление и токозахранване, както и да се организира регулиране на движението по подвижни блок-участъци. Независимо от това те си остават уязвими външни съоръжения, които се монтират периодично по дължината на линията. Възможностите за увеличаване интервала между бализите са лимитирани от бързото натрупване на грешки от бордовите сензори за пропътувано разстояние [2].

Още по-сериозен проблем е позиционирането на возилата в гарите. Гаровите релсови вериги и броячите на оси са скъпи компоненти на гаровите централизации, като едновременно с това лимитират нейната надеждност и изискват интензивна профилактика. Алтернативните методи за контрол на пътя са малко и не са обещаващи [3]. Проектът ERTMS заобикаля проблема и приема, че при своето развитие гаровите централизации ще запазят конвенционалните средства за контрол на свободността.

Повдигнатите въпроси занимават специалистите по осигурителна техника и вече има сериозни успехи. Обединяващото във всички предлагани решения е глобалното позициониране.

2 Същност на глобалното позициониране

Глобалното позициониране е технология за самопозициониране на потребителски приемник по сигнали, излъчвани от изкуствени спътници на Земята. Всеки спътник от системата изпраща измервателни последователности, кодирани със съобщения за координатите му и времето на излъчване. Приемникът декодира съобщенията на видимите спътници и знаейки времето на пристигането им, определя времепътуването на сигнала, а чрез него и отдалечеността си от спътника. Така възможното местоположение на приемника е върху сфера с радиус измерената отдалеченост и център в приемания спътник. Пресичането на три сфери, получени от сигналите на три спътника, позволяват на приемника да

определи позицията си. На практика е нужен и четвърти спътник, за да се избегне неопределеност на решението, както и да се преодолее неточността на часовника в приемника. Спътниците разполагат с много точни (атомни) часовници и понеже потребителските приемници функционално непрекъснато се сверяват с тях, последните освен позиционна информация доставят астрономическо време с точност до наносекунди.

Позиционното определение се извършва сравнително бързо, може да се прави непрекъснато и позволява да се проследяват приемници, разположени върху подвижни обекти. Първичната навигационна информация се получава в декартови или полярни координати.

3 Глобални позициониращи системи

В момента се експлоатират две глобални спътникови позициониращи системи – руската ГЛОНАСС (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) и американската GPS (Global Positioning System). Създадени са за военни цели, но ограничени техни ресурси са достъпни и за цивилни потребители. В пълната си конфигурация и двете съдържат по 24 подвижни изкуствени спътника, обикалящи Земята на височина около 20000km с драконичен период около 12h. Всеки спътник излъчва непрекъснато два радионавигационни сигнала в гигахерцовия диапазон, като цивилните потребители имат реален достъп само до първия. Носещите честоти се манипулират фазово с псевдослучайни шумоподобни кодове и навигационна информация. В системата ГЛОНАСС каналите на отделните спътници са разделени честотно, а в GPS – кодово.

В момента Европейската космическа агенция ESA подготвя въвеждането на трета глобална система – GALILEO, която се очаква да влезе в експлоатация през 2008г. GALILEO ще е изцяло цивилна система и се очаква да подобри съществено нивото на позиционните услуги.

GPS и ГЛОНАСС също подготвят разширяване на цивилните си възможности.

Позиционирането най-общо е безплатно, достъпно е във всяко време, във всички точки на Земята и съхранява анонимността на потребителите. Цените и обемите на масовите навигационни приемници са съизмерими с тези на мобилните телефони.

Наред с многото възможности за транспорта, които дават глобалните позициониращи системи, следва да се коментират и основните трудности, както и дали може да се намерят приемливи начини за преодоляването им. Тук на първо място е проблемът за *точността*.

ГЛОНАСС и GPS имат практически еднаква точност. Грешката в хоризонталните координати, при пълна конфигурация на орбиталния сегмент и с достъпните за цивилните потребители ресурси е от порядъка на няколко десетки метра. Това е приемливо за много жп приложения, като например търговско проследяване на вагони и контейнери, но е неудовлетворително, когато трябва да се диференцира заетост на съседни коловози.

Най-универсалният начин за чувствително повишаване на точността при позициониране на подвижни обекти е диференциалната корекция. Същността на тази технология, известна като DGPS (Differential GPS) е в позициониране на не-

подвижен приемник от висок клас, разположен в точка с известна позиция (опорна станция) и определяне на разликата между измерените и фактическите ѝ координати. Приемайки, че грешката в измерените координати се дължи на влияние, характерно за опорната точка и близкия ѝ район (десетки километри), тази грешка може да се достави по радиопът на подвижните приемници в областта под формата на корекция. Така точността значително се повишава и може да достигне няколко метра.

Допълнително повишаване на точността на позиционирането се постига като при измерването на отдалеченост се следи закъснението не само на псевдослучайния код, но и фазата на носещата честота. Това разбира се е оскъпяване, но може чувствително да повиши точността.

Точността на позиционирането, както и цялостното функциониране на системата, са свързани с броя на видимите в момента спътници (*достъпност* до спътникови сигнали). Ако те са по-малко от четири, решението е неопределено, а ако са по-вече – приемникът избира оптимално разположена четворка. Броят на видимите спътници може да бъде намален от непълна конфигурация на космическия сегмент, повреди и засенчване при преминаване през пресечен терен, от високи дървета, сгради и инженерни съоръжения. При съвременните навигационни приемници, в позиционирането участват всички приемани спътници, като преопределеността на задачата се разрешава с калманови филтри [4].

От позицията на горното, от полето на търсените тук решения, следва да се изключи самостоятелното използване на ГЛОНАСС, тъй като при нея не се поддържат в орбита достатъчен брой спътници. Освен това (а може би именно заради това) за тази система на пазара не се предлагат евтини и леки потребителски приемници за масова употреба.

В същото време Пентагонът гарантира покритие с 24 GPS спътника за 70% от времето и с 21 спътника за 98%. Оценявайки тези параметри трябва да се държи сметка и за международната конюнктура. САЩ, без да ограничават военните си възможности, винаги могат да спрат излъчването на цивилния сигнал, преднамерено да влошат точността му (чрез режим за селективен достъп SA – Selective Availability) или да заглушат приемането му в определени райони (режим селективен отказ SD – Selective Denial).

Двата проблема - точност и достъпност - получават по-добро решение с комбинирани навигационни приемници, които обработват едновременно сигналите на ГЛОНАСС и GPS.

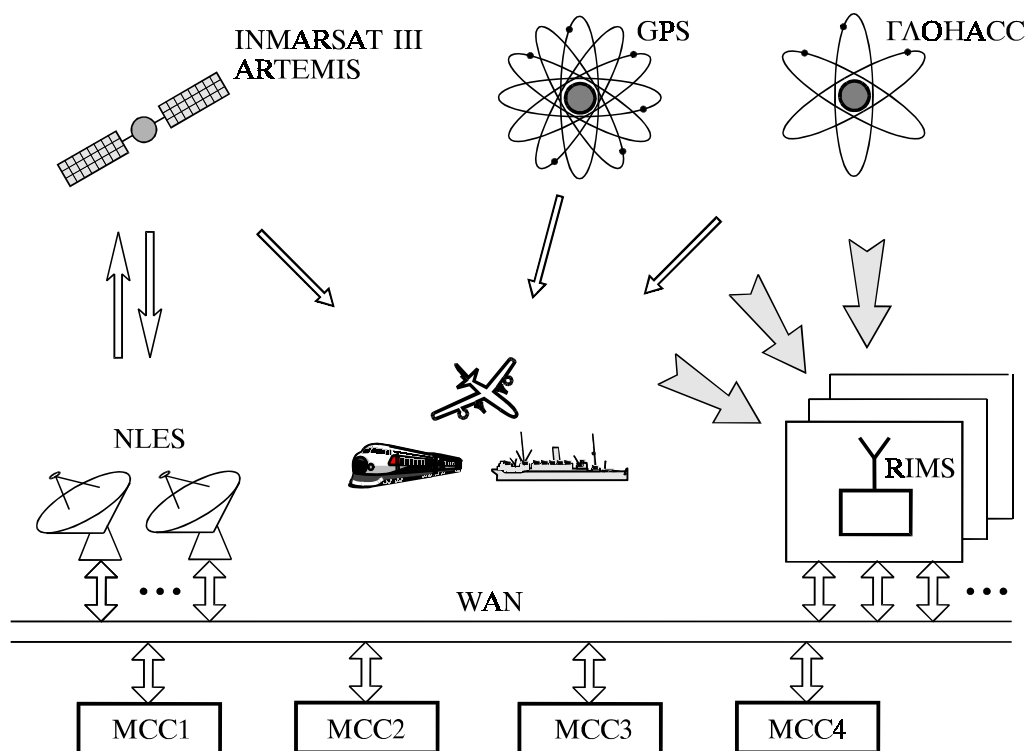
Сериозен проблем при използването на спътниковото позициониране е информацията за *интегритета* на системата. Казано по друг начин, да не се допускат в позиционното определяне сигнали от повредени спътници, а приемниците да получават своевременно информация за изправност на всички спътници. Такава информация (в качеството на диагностична) е нужна и за управляващата подсистема, поради което се формира на всеки спътник и се изпраща както към управляващия, така и към потребителския сегмент. Малката скорост на предаване на информацията (50bit/s) и голямата периодичност на навигационните съобщения (минути и десетки минути), както и основното (диагностичното) предназначение са причина информацията за интегритета на системата да достига до крайния потребител няколко часа след нарушаването му. Т.е днешните глобални

позициониращи системи допускат приемане и обработване на неверни спътникови сигнали за дълги периоди от време. Като се има предвид, че животът на спътниците е от порядъка на десетина години, следва да се заключи, че в близките години именно проблемът с интегритета на глобалните спътникови системи ще е основната трудност за сигурното позициониране.

4 Системата EGNOS

Качеството на спътниковото позициониране може да се подобри и да се доближи до изискванията на свързаните с безопасността на хората приложения, каквито са управлението на полетите, морската навигация в трудни условия, управлението на влаковете и др. За целта са необходими допълнителни технически системи, които да обслужват обособени географски райони. Такава е европейската система EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) [5].

EGNOS работи със сигналите на глобалните навигационни системи GPS и ГЛОНАСС. Използва три геостационарни спътника (фиг. 1) – два INMARSAT III



Фиг. 1 Системата EGNOS

и един ARTEMIS, разположени над определени точки, така че да обслужват континента. Трите спътника излъчват GPS-подобни сигнали, и заедно със сигналите от GPS и ГЛОНАСС се приемат с обща антена от EGNOS навигационни приемници и участват в позиционното определение. Така се осигурява голям брой едновременно приемани спътници, което води към високи непрекъснатост, достъпност и точност на позиционирането.

Земният сегмент на EGNOS се състои от няколко десетки станции за измерване на отдалеченост и контрол на интегритета RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations), които непрекъснато следят спътниците EGNOS, GPS и ГЛОНАСС и приемат техните сигнали. Станциите RIMS натрупват информация-

та и я изпращат към четворно резервирана главна управляваща станция МСС (Master Control Center). МСС определя широкозонна диференциална корекция и интегритетна информация, които чрез няколко приемо-предавателни станции NLES (Navigation Land Earth Stations) се зареждат в EGNOS спътниците. Последните от своя страна доставят данните на EGNOS приемниците по цивилния канал на GPS. Всички елементи на земния сегмент работят във WAN мрежа.

Чрез EGNOS точността на позициониране се подобрява до няколко метра [6], а предупреждението за нарушен интегритет достига до потребителите за по-малко от десет секунди.

Територията на България изцяло е покрита от EGNOS.

Подобни на EGNOS са американската система WAAS (Wide Area Augmentation System) и японската MSAS (Multi-function Satellite Augmentation System). Трите системи са съвместими и понастоящем се използват основно за управление на полетите.

5 Позициониране с цифрови карти

Картите днес се извличат от географските информационни системи GIS (Geographical Information System). Това са бази от компютърни данни, организирани в нива по вид и детайлност. Търсенето на необходимата информация се прави по координатите на съответната точка и асоцииран с нея информационен вектор, представляващ отнасящите се до точката данни от всички нива. На практика интерес представляват карти с еднотипна информация – например на автомобилните пътища в даден район. Ето защо за съставянето на желаната карта се извлича само необходимата по вид и детайлност информация. Така адаптираната към нуждите на потребителя карта може да се разпечата върху хартия, да се запише върху магнитен носител (CD, DVD) или да се покаже върху екрана на монитор.

При управление на транспортни средства цифровата карта е подходящия фон, върху който диспечерът може да следи движението, като известната позиция на превозното средство, получена по радиопът от бордови GPS приемник, се изобразява с подходяща икона. Така се развиват системите за управление и контрол на автомобили (таксита, коли на бърза помощ, товарни автомобили на голяма фирма и др.)

По подобен начин може да се направи и диспечерска система за контрол на влаковото движение, но невъзможността на релсовите превозни средства да напускат железния път прави тази задача по-различна и по-лесна. Чисто математически вместо четирите пресичащи се сфери, описани в т. 2, сега е достатъчна само една, а търсената позиция на влака е в пресечната точка на сфера около един спътник и картираната траектория на железопътната линия. На практика, заради сверяването на часовника в приемника е необходима и втора сфера, респективно – да се приема сигнала от още един спътник.

Ако услугата “точно време” не е сред приоритетите на навигационния приемник, същият може да се развие по-просто. Вместо със сферична повърхнинна се търси пресичането на железопътната линия с хиперболоид, чиито полюси са в два видими спътника, а повърхнината му е геометрично място на точки, за които разликата от разстоянията до двата спътника е константа. Опростяването

идва от това, че не са нужни времената за пътуване на сигналите от спътниците до приемника, а само разликата между тях. Следователно в приемника не е нужен точен часовник, както и че при изваждането на двете времепътувания ще се ограничи неблагоприятното влияние върху точността на атмосферата като цяло и преди всичко на заредените слоеве на йоносферата.

Цифровите карти, в комбинация с точен измерител на пропътуваното разстояние, решават проблема за позиционирането при непродължително отсъствие на спътникови сигнали – например в тунели. Тази паралелна система за следене, известна като инерционно (мъртво) позициониране, може да се използва и в нормални условия като средство за допълнително повишаване на точността и непрекъснатостта на позициониране.

6 Fail-safe позициониране

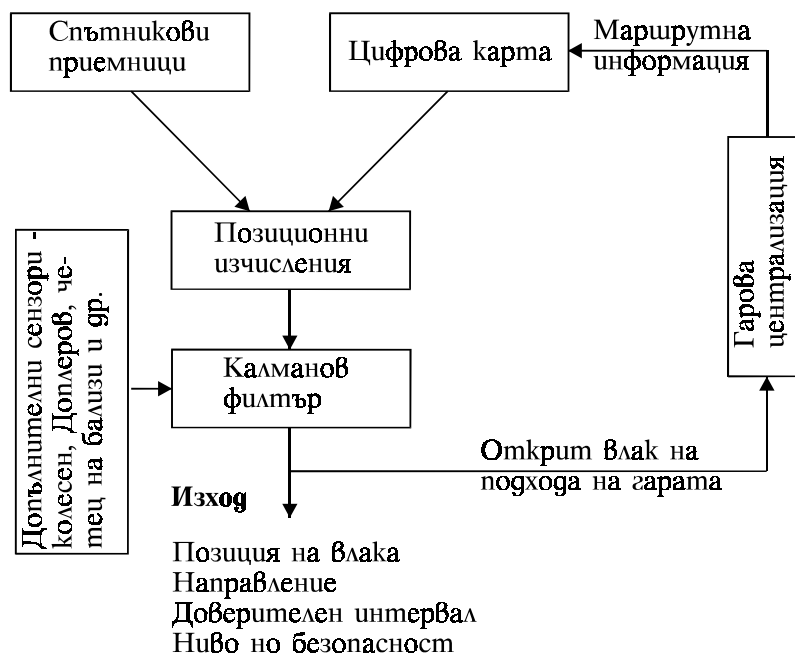
Критерий за fail-safe поведение на позиционираща система, която участва в управление на влаковото движение е удовлетворяването на изискванията на SIL4 от европейските норми EN 50125 и ENV 50129, а именно за интензивност на опасните грешки по-малка от 10^{-11} - 10^{-12} 1/h [7,8]. Тези параметри могат да бъдат достигнати чрез квази fail-safe архитектура, обработващите канали на която ползват различни спътници. В качеството на самостоятелен канал могат да се използват инерционни сензори – основно измерители на пропътувано разстояние (одометри).

Приемането на нова четворка спътници от същото съзвездие за организиране на втори позициониращ канал е практически невъзможно, ето защо следва да се използват EGNOS приемници, които приемат сигналите от GPS, ГЛОНАСС и геостационарните спътници на системата EGNOS.

Задачата за формиране на нови позициониращи канали става още по-реална с включването на цифрова карта. Последната, освен че облекчава инерционното позициониране, допуска изяснения в предишната точка хиперболичен метод на спътниково позициониране, а именно, че за едно позиционно определение са нужни само два видими спътника. Всичко това говори, че квази fail-safe структурата може да разполага с няколко независими позициониращи канала, с които да се достигнат необходимите нива на безопасност, точност, достъпност и интегритет (фиг. 2) [9].

7 Реализации

За прилагане на глобалните позициониращи технологии в жп транспорта се заговори скоро след пускането в редовна експлоатация на GPS и ГЛОНАСС. Първите разработки бяха на информационни системи, обслужващи пътниците във влаковете и по пероните на гарите [10].



Фиг. 2 Fail-safe позициониране

По късно BOMBARDIER TRANSPORTATION предложи системата ATLAS (Advanced Train Location and Administration System) за откриване и следене на подвижен състав [11] и система за управление на движението в промишления транспорт [12]. Те са изградени върху обща апаратна и програмна платформа OPTIVIA, като във втората е реализирана комбинирана позиционираща система. Наред с DGPS приемник, позициониращи резултати се формират и с одометри и цифрови карти.

Почти едновременно с това ALCATEL предложи система, свързана с магистрално движение [10,13]. Става дума за нови линии в третия свят с малък трафик на движение. Гарите реално са без централизации. Стрелките са от пружинен тип (имат основно положение и нормално се разрязват при движение по езиците). Отговорността за безопасността се носи от машиниста, докато предложената система централизира контрола и спомага за повишаване на безопасността в междугарията. Позициониращата апаратура е изцяло на борда на влака и се състои от бордови компютър, навигационен приемник и жirosкоп за определяне на посоката на движението. Няма пътни сигнали, релсови вериги, броячи на оси и пътни бализи. Позиционната информация достига до управляващия център по радиото, където базиран на разписанието компютър управлява цялата линия. По обратния тракт на радиоканала машинистът получава върху бордови монитор командите за текущата скорост и спиранията.

Значима стъпка във внедряването на GPS технологиите в железопътната осигурителна техника представлява проектът LOCOPROL (LOW COst satellite based train location system for signalling and train PROtection for Low density traffic railway lines) [7,8,9]. Разработва се от консорциум от единадесет европейски фирми и железопътни администрации с водещото участие на ALSTOM. В проекта участва и Китай. Приключването е планирано за 2004г.

Целта на проекта е създаване на цялостна система за управление на влакото движение в линии с малък трафик, за които европейската система ECTS е много скъпа. Независимо че LOCOPROL е алтернатива на ECTS, разработката максимално е съобразена с нея и двете системи успешно може да се допълват – например за увеличаване на разстоянието между бализите на ECTS.

Позициониращата система, която е в основата на LOCOPROL е от fail-safe тип и максимално се доближава до структурата от фиг. 2, като са изключени само допълнителните инерционни сензори. Използват се позиционни резултати, получени от три двойки спътници и хиперболоиден метод на позициониране с цифрова карта.

В зоната на стрелките бордовото оборудване влиза в директен диалог с гаровото централизация или обектни контролери на стрелките за селектиране на актуалното трасе. Аналогична връзка се поддържа с прелезите и ремонтните бригади по пътя. Тази директна връзка силно облекчава високоотговорната комуникация с управляващия център.

Навигационният приемник на LOCOPROL е PolaRx2 и се произвежда от белгийската фирма Septentrio NV. Той приема спътниковите сигнали без да ги дешифрира и измерва само отдалеченост до спътника и доплерова скорост. Това му разрешава да използва и военните кодове в двете честотни ленти, което осигурява допълнителни точност и надеждност.

За организиране на движението в междугарията се прилагат символично фиксирани блок-участъци без релсови вериги, броячи на оси и пътни сигнали.

8 Заключение

От казаното по-горе се вижда, че GPS технологиите, които днес се развиват интензивно, търсят и намират приложение в железопътната осигурителна техника. Те позволяват ефективни и надеждни решения при достатъчна съвместимост с европейските тенденции, признати чрез проекта ERTMS/ECTS. Днес внедрените системи, базирани на глобално позициониране са сравнително малко и причината е в това, че цивилните потребители имат ограничен достъп до ресурсите на GPS и ГЛОНАСС. Освен това съществуващите системи за глобално спътниково позициониране не гарантират необходимите точност, непрекъснатост, достъпност и интегритет. Условието за внедряване на GPS технологиите значително се подобряват с пускането на европейската система за широкозонна диференциална корекция EGNOS. Истинският бум обаче може да се очаква след 2008г., когато ще влезе в експлоатация и европейската глобална позиционираща система GALILEO, в която конструктори и потребители на жп осигурителна техника ще намерят неocenim съюзник.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pore, J. ERTMS/ETCS Installation in Full Swing. *International Railway Journal* December 2003, p. 20-21
- [2] Chudacek, V., L. Lohman, M. Stolin. Navigation Satellite Systems in Railway Signalling? *Signal+ Draht* (94) №5/2002, p. 44-47
- [3] Milius, B. Stelwerke von Morgen. *Glaser's Annalen* 2002, № 2-3, p.106-114

- [4] Drane, C., C. Rizos. Positioning Systems in Intelligent Transportation Systems. *Artech House Inc* . Boston – London, 1998, 369p
- [5] Gauthier, L., P. Michel, J. Ventura-Traveset , J. Benedicto. EGNOS: The First Step in Europe’s Contribution to the Global Navigation Satellite System. *ESA bulletin* 105 February 2001, p. 35-42
- [6] Filip, A., H. Mocek, L. Bazant. GPS/GNSS Based Train Positioning for Safety Critical Application. *Signal+Draht*, (93) №5/2001, p. 51-55
- [7] Mertens, P., J.-P. Franckart, A. Starck. Low-cost signalling on lines. *Railway Gazette International*, August 2003, p, 498-499
- [8] Marais, J., M. Berbineau, O. Frimat, J.-P. Franckart. A New Satellite-based Fail-safe Train Control and Command for Low Density Railway Lines. www.locoprol.org/acrobat/artilt.pdf
- [9] Fail-safe, Innovation, Cost-effective, Satellite-based Train Protection, Control and Command LOCOPROL. www.locoprol.org/acrobat/presenta.pdf
- [10] Kiss, G. The Use of Modern Satellite Systems in the Railway Traffic. *Periodica politechnica ser. transp. eng.*, (28) №1-2/2000, p. 123-130
- [11] Shneider, A., W. Vermeulen. ATLAS – Advanced Train Location and Administration System. *Signal+Draht*, (94) №10/2002, p. 38-42
- [12] Winter, J., G. Holzmuller. Sattellite-aided Rail Vehicle Positioning for Industrial Railways Used by LogServ. *Signal+Draht*, (93) №9/2001, p. 48-52
- [13] Rahn, W. Н. Спутниковая навигация и управление движением на малодеятельных линиях. *Железные дороги мира*, 1999, №2.